

ズームレンズ

Zoom Lens

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

本発明は、ズームレンズ、特に、奥行き方向の薄型化を実現したビデオカメラやデジタルカメラをはじめとする電子撮像装置用のズームレンズに関するものである。

2. Description of the Related Art

近年、銀塩35mmフィルム（135フォーマット）カメラに代わる次世代カメラとして、デジタルカメラ（電子カメラ）が注目されてきている。さらに、それは業務用高機能タイプからポータブルな普及タイプまで幅広い範囲で、いくつものカテゴリーを有するようになってきている。このような状況の下でカメラの薄型化は重要な課題の一つであるが、従来、カメラの奥行き方向を薄くするのに最大のネックとなっているのは、光学系特にズームレンズ系の最も物体側の面から撮像面までの厚みである。最近におけるカメラボディ薄型化技術の主流は、撮影時には光学系がカメラボディから突出しているが携帯時には収納されるいわゆる沈胴式鏡筒を採用することである。沈胴式鏡筒を採用して効果的に薄型化できる可能性を有する光学系の例として、物体側から順に、負の屈折力を有する第1群と正の屈折力を有する第2群を有しており、ともに変倍時には移動するようにしたものがある（例えば、特開平11-194274号、特開平11-287953号及び特開2000-9997号参照）。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明のズームレンズは、負の屈折力を有するレンズ群G1と、該レンズ群G1の像側に配置された開口絞りとを備え、前記レンズ群G1は、最も物

体側に、光路を折り曲げるための反射面を含む光学素子を有していて、変倍時固定であり、前記開口絞りは変倍時に像面に対して位置が不動であり、且つ前記光学素子の光線入射面が物体側に凹であり、光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を有している。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群 G 1 と前記開口絞りとの間に配置された、正の屈折力を有するレンズ群 G 2 を更に備え、該レンズ群 G 2 は、無限遠物点合焦時に、広角端から望遠端に変倍する際に一方向にのみ移動し、以下の条件を満足する。

$$0.45 < \log r_B / \log r < 0.85$$

但し、 f_T は望遠端における前記ズームレンズの全系の焦点距離、 f_w を広角端における前記ズームレンズの全系の焦点距離、 $r = f_T / f_w$ 、 r_B は望遠端における前記ズームレンズ群 G 2 の倍率／広角端における前記レンズ群 G 2 の倍率である。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、前記開口絞りから像側に向かって順に配置された、負の屈折力を有するレンズ群 G 3 と、正の屈折力を有するレンズ群 G 4 とを備え、前記レンズ群 G 3 と前記レンズ群 G 4 とは隣接して配置され、無限遠物点合焦時に、広角端から望遠端へ向かって変倍する際に、前記レンズ群 G 3 と前記レンズ群 G 4 の間隔が、広角端よりも望遠端の方が小さくなる。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、無限遠物点合焦時広角端から望遠端へ向かって変倍する際に、前記レンズ群 G 4 の位置が広角端よりも望遠端の方がより像側に位置する。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、前記開口絞りよりも像側に配置され、合焦を行うレンズ群を備えている。

本発明のズームレンズは、好ましくは、正の屈折力を有し、且つ非球面を有するレンズ群を備えている。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、正の屈折力を有し、且つ接

合レンズ成分含むレンズ群を備える。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群が1つの接合レンズ成分のみで構成されている。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、以下の条件を満たす。

$$0.45 < e/L < 1.2$$

但し、Lは撮像素子の有効撮像領域の対角長、eは前記光学素子の光線入射面から光線射出面までの光軸上に沿って測ったときの空気換算長である。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、前記光学素子がプリズムであって、以下の条件を満たす。

$$1.45 < n_{pri}$$

但し、 n_{pri} は該プリズムの媒質の屈折率（d線）である。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、更に、レンズ群G2を備え、以下の条件を満たす。

$$0.85 < -\beta_{R1} < 2.0$$

但し、 β_{R1} は前記レンズ群G2以降の望遠端における合成倍率（無限遠物点）である。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、更に、レンズ群G2とレンズ群G3を備え、以下の条件を満たす。

$$0.2 < -M3/M2 < 0.75$$

但し、M2は無限遠合焦時に広角端から望遠端に変倍する際の前記レンズ群G2の移動量、M3は無限遠合焦時に広角端から望遠端に変倍する際の前記レンズ群G3の移動量である。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、更に、副レンズ群を備え、以下の条件を満たす。

$$0 < f_{11}/f_{12} < 1.6$$

但し、 f_{11} は前記レンズ群G1のプリズムの焦点距離、 f_{12} は上記副レンズ群の焦点距離である。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、以下の条件を満たす光学部材または光学薄膜を有する。

$$\tau 600 / \tau 550 \geq 0.8$$

$$\tau 700 / \tau 550 \leq 0.08$$

但し、 $\tau 550$ は前記光学部材または光学薄膜の波長550 nmにおける透過率、 $\tau 600$ は前記光学部材または光学薄膜の波長600 nmにおける透過率、 $\tau 700$ は前記光学部材または光学薄膜の波長700 nmにおける透過率である。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、以下の条件を満たす光学部材または光学薄膜を有する。

$$\tau 400 / \tau 550 \leq 0.08$$

$$\tau 440 / \tau 550 \geq 0.4$$

但し、 $\tau 400$ は前記光学部材または光学薄膜の波長400 nmにおける透過率、 $\tau 440$ は前記光学部材または光学薄膜の波長440 nmにおける透過率、 $\tau 550$ は前記光学部材または光学薄膜の波長550 nmにおける透過率である。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、前記撮像面に配置された電子撮像素子に物体像を形成し、光学的ローパスフィルタを備え、下記条件を満たす。

$$a < 4 \mu\text{m} \text{ のとき } 0.08 a < t_{\text{LPF}} < 0.16 a$$

$$a < 3 \mu\text{m} \text{ のとき } 0.075 a < t_{\text{LPF}} < 0.15 a$$

但し、 a は前記電子撮像素子の水平画素ピッチ（単位 μm ）、 t_{LPF} （mm）は前記ズームレンズの光軸に沿って最も厚く、それとのなす角が35度から55度の範囲に1つの結晶軸を有する光学的ローパスフィルタの厚みである。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群G3が、広角端から望遠端へ向かって変倍する際に、固定のレンズ成分と移動するレンズ成分を有する。

また、本発明のズームレンズは、好ましくは、前記光学素子がプリズムで

ある。

本発明によれば、ズーム比、画角、F 値、少ない収差など高い光学仕様性能を確保しながらも、沈胴式鏡筒に見られるようなカメラの使用状態への立ち上げ時間（レンズのせり出し時間）がなく、防水・防塵上も好ましく、また、奥行き方向が極めて薄いカメラとすることが可能となるズームレンズを提供することが出来る。加えて、絞り、シャッター機構などを移動させない光学系とすることで奥行きをさらに薄くすることができる。

The features and the advantages of the present invention will become apparent from the following detailed description of the preferred embodiments when taken in conjunction with the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図 1 は、本発明にかかるズームレンズの第 1 実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。

図 2 A，2 B 及び 2 C は、第 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の、それぞれ広角端，中間及び望遠端での光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図 3 A，3 B，3 C 及び 3 D は、第 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、広角端での球面収差，非点収差，歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 4 A，4 B，4 C 及び 4 D は、第 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、中間での球面収差，非点収差，歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 5 A，5 B，5 C 及び 5 D は、第 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、望遠端での球面収差，非点収差，歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 6 A、6 B、6 C 及び 6 D は、第 1 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、広角端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 7 A、7 B、7 C 及び 7 D は、第 1 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、中間での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 8 A、8 B、8 C 及び 8 D は、第 1 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、望遠端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 9 は、本発明にかかるズームレンズの第 2 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。

図 10 A、10 B 及び 10 C は、第 2 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の、それぞれ、広角端、中間及び望遠端での光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図 11 A、11 B、11 C 及び 11 D は、第 2 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、広角端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 12 A、12 B、12 C 及び 12 D は、第 2 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、中間での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 13 A、13 B、13 C 及び 13 D は、第 2 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、望遠端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 14 A、14 B、14 C 及び 14 D は、第 2 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、広角端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 1 5 A, 1 5 B, 1 5 C 及び 1 5 D は、第 2 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、中間での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 1 6 A, 1 6 B, 1 6 C 及び 1 6 D は、第 2 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、望遠端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 1 7 は、本発明にかかるズームレンズの第 3 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。

図 1 8 A, 1 8 B, 1 8 C 及び 1 8 D は、第 3 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の、それぞれ、広角端、中間及び望遠端での光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図 1 9 A, 1 8 B, 1 8 C 及び 1 8 D は、第 3 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、広角端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 2 0 A, 2 0 B, 2 0 C 及び 2 0 D は、第 3 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、中間での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 2 1 A, 2 1 B, 2 1 C 及び 2 1 D は、第 3 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、望遠端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 2 2 A, 2 2 B, 2 2 C 及び 2 2 D は、第 3 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、広角端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 2 3 A, 2 3 B, 2 3 C 及び 2 3 D は、第 3 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、中間での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 2 4 A, 2 4 B, 2 4 C 及び 2 4 D は、第 3 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、望遠端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 2 5 は、本発明にかかるズームレンズの第 4 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。

図 2 6 A, 2 6 B 及び 2 6 C は、第 4 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の、それぞれ、広角端、中間及び望遠端での光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

第図 2 7 A, 2 7 B, 2 7 C 及び 2 7 D は、4 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、広角端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 2 8 A, 2 8 B, 2 8 C 及び 2 8 D は、第 4 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、中間での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 2 9 A, 2 9 B, 2 9 C 及び 2 9 D は、第 4 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、望遠端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 3 0 A, 3 0 B, 3 0 C 及び 3 0 D は、第 4 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、広角端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 3 1 A, 3 1 B, 3 1 C 及び 3 1 D は、第 4 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、中間での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 3 2 A, 3 2 B, 3 2 C 及び 3 2 D は、第 4 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、望遠端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 3 3 は、本発明にかかるズームレンズの第 5 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。

図 3 4 A、3 4 B 及び 3 4 C は、第 5 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の、それぞれ、広角端、中間及び望遠端での光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図 3 5 A、3 5 B、3 5 C 及び 3 5 D は、第 5 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、広角端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 3 6 A、3 6 B、3 6 C 及び 3 6 D は、第 5 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、中間での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 3 7 A、3 7 B、3 7 C 及び 3 7 D は、第 5 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における、それぞれ、望遠端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 3 8 A、3 8 B、3 8 C 及び 3 8 D は、第 5 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、広角端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 3 9 A、3 9 B、3 9 C 及び 3 9 D は、第 5 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、中間での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

図 4 0 A、4 0 B、4 0 C 及び 4 0 D は、第 5 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における、それぞれ、望遠端での球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。説明に先立ち本発明のズームレンズの作用効果について述べる。

一般に、反射面を有する光学素子を用いて光路を屈曲させると、反射面近傍にレンズ要素を配置することが出来ない。そのため、その部分で空気換算長が必要以上に長くなり、入射瞳が深くなったり（入射瞳位置がより像側に位置する）、変倍比の確保が困難になることがある。従って、反射面近傍のように他のレンズ要素を配置することが出来ない領域は極力屈折率の高い媒質で埋め、その領域の光軸に沿った空気換算長を極力短くすることが重要である。そこで、光学素子としてプリズムを用いるのが好ましい。つまり、Lを撮像素子の有効撮像領域（ほぼ矩形）の対角長とした場合、プリズムの光線入射面から光線射出面までの光軸上に沿って測ったときの空気換算長eが次の条件（1）を満たすようにするのがよい。

$$0.45 < e/L < 1.2 \quad (1)$$

上記条件（1）において、上記空気換算長eが上限値を上回ると、プリズムを含めた物体側の光学素子が大型化しやすく、収差補正上も不利である。また、レンズ群G1以外の全てのレンズ群による合成倍率が低くなり、変倍に寄与する各レンズ群の移動量が増大するか、高いズーム比を確保することが困難となる。また、下限値を下回ると、画像周辺部の結像に寄与する光束が満足に像面に達しないし、或いはゴーストが発生しやすい。

なお、上記空気換算長eが次の条件（1'）を満たすようにすれば、より好ましい。

$$0.55 < e/L < 1.0 \quad (1')$$

さらに、上記空気換算長eが次の条件（1''）を満たすようにすれば、最も好ましい。

$$0.65 < e/L < 0.8 \quad (1'')$$

上記条件の何れかを満足すれば、反射面前後の媒質が空気となる表面鏡を用いても構わないが、出来ればプリズム体の媒質には高い屈折率のものを使って極力短くするのが、より好ましい。

また、n_{pri}を光学素子がプリズムの場合における媒質屈折率（d線）とし

たとき、次の条件（２）を満たすようにするのが良い。

$$1.45 < n_{pri} \quad (2)$$

屈折率 n_{pri} は高い方が好ましいが、上記条件（２）の上限値を上回ると、全反射によるゴーストが発生しやすい。また、下限値を下回ると、プリズムを含めた物体側の光学素子が大型化しやすく、収差補正上も不利である。また、レンズ群 $G1$ 以外の全てのレンズ群による合成倍率が低くなり、変倍に寄与する各レンズ群の移動量が増大するか又は高いズーム比を確保することが困難となる。この様に入射面を発散面としたプリズムを最も物体側に設け、前記プリズムを有するレンズ群 $G1$ を変倍時固定とすることにより、カメラの奥行き方向を薄くすることが可能となる。

同時に、レンズ鏡筒の光路折り曲げ個所より像側の部分でのレンズ径方向への肥大化も回避するよう、考慮しなくてはならない。たとえば、絞り機構（シャッター機構を含む場合もある）を変倍と同時に移動させると、光量調節制御機構も一緒に移動させることになり、その移動スペースの確保のために鏡筒が径方向に肥大化してしまう。従って、本発明においては、変倍時に絞りの位置を不動としている。

しかしながら、変倍時に一方向に移動して変倍に大きく寄与するレンズ群よりも物体側に開口絞りを固定すると、広角端から望遠端に至るまでの F 値の変化量が著しく大きくなり不具合である。従って、少なくとも位置不動の開口絞りよりも物体側に、変倍に寄与するレンズ群を、つまり、前記レンズ群 $G1$ と前記開口絞りとの間に広角端から望遠端に変倍する際に一方向にのみ移動するレンズ群 $G2$ を配置する必要がある。また、前記レンズ群 $G1$ が負の屈折力を有する関係上、レンズ群 $G2$ は正の屈折力とするのがよい。一方、レンズ群 $G2$ の移動量が大きいと、入射瞳が深くなって光路屈曲が成り立たなくなったり、射出側のテレセントリック性を満足出来なくなる。そのため、広角端から望遠端にかけてのレンズ群 $G2$ の倍率変化の度合いを、次の条件（３）の範囲に抑制することが好ましい。

$$0.5 < \log \gamma_B / \log \gamma < 1.5 \quad (3)$$

ただし、 $\gamma = f_T / f_W$ 、 $\gamma_B =$ 望遠端におけるレンズ群 G 2 の倍率 / 広角端におけるレンズ群 G 1 の倍率である。

上記条件 (3) において、 $\log \gamma_B / \log \gamma$ の値が上限を上回ると、入射瞳が深くなって光路屈曲の成立性や、射出側のテレセントリック性に支障をきたしやすい。また、下限を下回ると変倍比を大きく得ることが困難になる。開口絞りより後のレンズ群を移動させることで変倍比の不足を補った場合、開口絞りより後のレンズ群の移動量が大きいほど広角端から望遠端に至るまでの F 値の変化量が大きくなる。なお、ある程度の移動量であれば F 値の変化量が少ないので、前記開口絞りよりも像側に、広角端から望遠端に変倍する際、一方向にのみ移動するレンズ群（変倍に寄与するレンズ群）を有すると良い。

なお、 $\log \gamma_B / \log \gamma$ の値が、次の条件 (3') を満たすようにすれば、より好ましい。

$$0.6 < \log \gamma_B / \log \gamma < 1.4 \quad (3')$$

さらに、 $\log \gamma_B / \log \gamma$ の値が、次の条件 (3'') を満たすようにすれば、最も好ましい。

$$0.7 < \log \gamma_B / \log \gamma < 1.3 \quad (3'')$$

また、前記開口絞りから像側については物体側から順に、負の屈折力であるレンズ群 G 3、正の屈折力であるレンズ群 G 4 を配置する構成が好ましい。そして、広角端から望遠端に向かって変倍する際に、前記レンズ群 G 3 とレンズ群 G 4 の間隔が広角端よりも望遠端の方が小さくなるように、少なくともいずれか一方の群を移動させるとよい。特に、前記レンズ群 G 4 の位置が広角端よりも望遠端の方がより像側となるような移動の仕方が好ましい。合焦については、前記開口絞りより像側のいずれかのレンズ群を光軸上にて前後させることで行なうとよい。

さらに、各レンズ群の移動量を出来るだけ小さくして光学系の全長を短く

するために、以下の条件（４）を満足するよう、レンズ群 G 2 以降の合成系の倍率が－１倍近傍にて変倍するのが良い。ただし、収差補正上は、倍率の絶対値は低い方が有利である。従って、望遠端においては次の条件（４）を満足するのが良い。

$$0.85 < -\beta_{R1} < 2.0 \quad (4)$$

ただし、 β_{R1} はレンズ群 G 2 以降の光学系の望遠端における合成倍率（無限遠物点）である。 β_{R1} の値は上限を上回っても下限を下回っても、各レンズ群の相対的間隔の変化量が大きくなり、光学系の全長が長くなりがちである。

なお、 β_{R1} の値はが次の条件（４'）を満たすようにすれば、より好ましい。

$$0.9 < -\beta_{R1} < 1.8 \quad (4')$$

さらに、 β_{R1} の値はが次の条件（４''）を満たすようにすれば、最も好ましい。

$$0.95 < -\beta_{R1} < 1.6 \quad (4'')$$

加えて、開口絞りから像側は光路に沿って、負の屈折力であるレンズ群 G 3、正の屈折力であるレンズ群 G 4 を隣接して配置し、広角端から望遠端に変倍する際に、少なくとも一方のレンズ群が像側にのみ移動するようにすることでより大きな変倍比が得られる。

さらに、開口絞りよりも物体側にあるレンズ群 G 2 と像側にあるレンズ群 G 3 とは屈折力が異符号であるため、変倍時には互いに反対方向に移動する。そこで、無限遠合焦時に広角端から望遠端に変倍する際のレンズ群 G 2、レンズ群 G 3 の移動量 M2、M3 の比が、以下の条件（５）を満足するようにすると良い。但し、移動方向が像側の場合を正とする。

$$0.2 < -M3/M2 < 0.75 \quad (5)$$

この場合、 $-M3/M2$ の値が、上限を上回ると入射瞳が深くなって光路屈曲の成立性や、射出側のテレセントリック性に支障をきたしやすくなる。一方、

下限を下回ると広角端から望遠端に至るまでのF値の変化量が大きくなる。

なお、 $-M3/M2$ の値が、次の条件(5')を満足するようにすれば、より好ましい。

$$0.25 < -M3/M2 < 0.7 \quad (5')$$

さらに、 $-M3/M2$ の値が、次の条件(5'')を満足するようにすれば、最も好ましい。

$$0.3 < -M3/M2 < 0.65 \quad (5'')$$

合焦については、前記開口絞りより像側のいずれかのレンズ群にて行なうのがよい。

また、無限遠合焦時に広角端から望遠端に変倍する際のレンズ群G3、レンズ群G4のそれぞれの移動量M3、M4の比を次の条件(6)を満足するようにすると良い。

$$0.0 < M4/M3 < 0.6 \quad (6)$$

この場合、 $M4/M3$ の値が、上記条件(6)の上限を上回ると変倍比を稼ぐことが困難となり、また下限を下回るとフォーカスを実施するための移動スペースの確保が困難となる。

なお、 $M4/M3$ の値が、次の条件(6')を満足するようにすれば、より好ましい。

$$0.1 < M4/M3 < 0.5 \quad (6')$$

さらに、 $M4/M3$ の値が、次の条件(6'')を満足するようにすれば、最も好ましい。

$$0.2 < M4/M3 < 0.45 \quad (6'')$$

また、レンズ群G1には、前記プリズムの像側に、物体側から順に負レンズ、正レンズの2枚にて構成された副群を配置することで、色収差や歪曲収差などの軸外収差を補正することが出来る。但し、次の条件(7)を満足することが必要である。

$$0 < f_{11}/f_{12} < 1.6 \quad (7)$$

ただし、 f_{11} 、 f_{12} はそれぞれレンズ群 G 1 のプリズム、上記副群の焦点距離である。上記条件 (7) は、前記プリズムと、副群との焦点距離比を規定するものである。この場合、 f_{11}/f_{12} の値が、上限を上回ると入射瞳が深くなりやすくなる。また、下限を下回ると倍率の確保のためにレンズ群 G 2 以降の焦点距離が長くなり移動スペースが大きくなりやすい。

なお、 f_{11}/f_{12} の値が次の条件 (7') を満足するようにすれば、より好ましい。

$$0.1 < f_{11}/f_{12} < 1.5 \quad (7')$$

さらに、 f_{11}/f_{12} の値が次の条件 (7'') を満足するようにすれば、最も好ましい。

$$0.2 < f_{11}/f_{12} < 1.4 \quad (7'')$$

なお、プリズム射出面は偏心調整上平面にする方がよい。いずれのタイプも、近軸的屈折力配置を適切にするために、反射面を平面以外で構成してもよい。また、反射面の形状を自由に変えることの出来る制御系を設け、それでもって変倍の際に発生する焦点位置や収差の変動を補正したり、フォーカスをしたり、変倍をするために、形状制御可能な形状可変ミラーにするのがより好ましい。また、これとは別に、前記反射光学素子を、プリズム平面部に平凹レンズを接合したり、プリズムの有効光線通過面あるいは反射面を曲面で構成したりしても良い。

また、歪曲補正のレベルと電子撮像装置の目標サイズとのバランスの関係から、最も物体側にパワーの弱い正レンズを付加するようにしてもよい。その場合、レンズ群 G 1 の副群はなくてもよい。また、レンズ群 G 1 のプリズムは常時固定とするが、前記副群は移動することが比較的容易なため可動としても良い。その場合、変倍時に像側に凸の軌跡を描きつつ移動するようにするのがよい。また、レンズの小型化にとって、レンズの構成枚数の低減や各レンズエレメントの薄肉化は重要である。しかしながら、これらの要請は、ともに、ザイデル各収差や色収差補正の自由度を失い、補正を困難にする

方向のものである。ザイデル各収差について、変倍時の収差変動や変倍全域における軸外残存収差を補正するには、正の屈折力を有する全てのレンズ群に非球面を導入すると効果的である。その中でも、非球面は特に正のレンズエレメントに施すのが好ましい。また、色収差について、軸上及び倍率色収差を変倍全域に亘り補正するには、正の屈折力を有する全てのレンズ群が接合レンズ成分を含む構成とするのが望ましい。レンズ枚数を低減する意味からも、正の屈折力を有する全てのレンズ群が1つの接合レンズ成分のみで構成するのがよい。

なお、本発明のズームレンズは電子撮像素子を用いた電子撮像装置に適したものである。前記電子撮像装置は電子撮像装置で撮像された画像を電気信号に変換し諸々の画像処理を経て記憶媒体に記録せしめるものである。従って、前記画像処理の過程で歪曲収差による画像の歪みを補正することは容易である。但し、補正する場合には以下の条件を満たすとよい。

1. 樽型歪曲収差の場合：有効撮像領域（概略矩形）の短辺長の半分から1/4のあいだのいずれかの長さに相当する像高での倍率に合わせてそれ以外の像高の歪みを補正する。
2. 糸巻型歪曲収差の場合：有効撮像領域（概略矩形）の対角長の半分から1/4のあいだのいずれかの長さに相当する像高での倍率に合わせてそれ以外の像高の歪みを補正する。
3. 画面中心から対角長の半分の長さに相当する像高までの歪曲収差が±の両方の値をとる場合は補正しない。

一般的に広角端では大きな樽型歪曲収差、望遠端では大きな糸巻き型歪曲収差となるため、本方式を用いると実質的に焦点距離比以上のズーム比を得る事が出来る。

以上、ズームレンズ部を薄くしつつも結像性能を良好にする手段を提供した。

次に、フィルター類を薄くする点について言及する。電子撮像装置には、

通常、赤外光が撮像面に入射しないように一定の厚みのある赤外吸収フィルターを撮像素子よりも物体側に挿入している。本発明では、光学系を短くあるいは薄くするために、これを厚みのないコーティングに置き換えているが、それにより、下記のような副次的効果を得ることが出来る。即ち、前記ズームレンズ系の後方にある撮像素子よりも物体側に、波長 600 nm での光の透過率が 80 % 以上、700 nm での透過率が 8 % 以下の近赤外シャープカットコートを採用すると、吸収タイプよりも波長 700 nm 以上の近赤外領域の光の透過率が低くかつ相対的に赤側の透過率が高くなり、補色モザイクフィルターを有する CCD など固体撮像素子の欠点である青紫側のマゼンタ化傾向がゲイン調整により緩和され、原色フィルターを有する CCD など固体撮像素子並みの色再現を得ることができる。また、原色補色に限らず植物や人肌の様に近赤外領域に強い反射率を有するものの色再現が改善される。

$$\tau_{600} / \tau_{550} \geq 0.8 \quad (\text{より良い} \cdots 0.85 \text{以上、最も良い} \cdots 0.9 \text{以上})$$

$$\tau_{700} / \tau_{550} \leq 0.08 \quad (\text{より良い} \cdots 0.05 \text{以下、最も良い} \cdots 0.03 \text{以下})$$

CCD など固体撮像素子のもう 1 つの欠点は、近紫外域の波長 550 nm に対する感度が人間の眼のそれよりもかなり高いことである。これも、近紫外域の色収差による画像のエッジ部の色にじみを目立たせている。特に、光学系を小型化すると、各レンズ群及び各レンズのパワーが増大しやすくなる。そのために高次の色収差が発生しやすくなり、通常の硝材を用いてもそれを補正することは極めて困難になる。従って、波長 400 nm での透過率 (τ_{400}) の波長 550 nm でのそれ (τ_{550}) に対する比が 0.08 を下回り、波長 440 nm での透過率 (τ_{440}) の波長 550 nm でのそれ (τ_{550}) に対する比が 0.4 を上回るような吸収体あるいは反射体を光路上に挿入すれば、色再現上必要な波長域を失わず（良好な色再現を保ったまま）色にじみなどのノイズがかなり軽減される。

$$\tau_{400} / \tau_{550} \leq 0.08 \quad (\text{より良い} \cdots 0.06 \text{以下、最も良い} \cdots 0.04 \text{以下})$$

$$\tau_{440} / \tau_{550} \geq 0.4 \quad (\text{より良い} \cdots 0.5 \text{以上、最も良い} \cdots 0.6 \text{以上})$$

なお、これらのフィルターの設置場所は、結像光学系（ズームレンズ）と撮像素子の間がよい。

一方、補色フィルターの場合、その透過光エネルギーの高さから原色フィルター付きCCDと比べ実質的感度が高く、かつ解像的にも有利である。そのため、補色フィルターは小型CCDを使用したときのメリットが大である。

また、光学系を短く薄くするには、もう一方のフィルターである光学的ローパスフィルターについても出来るだけ薄くするのがよい。一般的に、光学ローパスフィルターは水晶の様な単軸結晶が有する複屈折作用を利用している。そこで、結晶軸がズームレンズの光軸に対してなす角が35度から55度の範囲であり、かつ各々の結晶軸を像面に投影したときの方向がそれぞれ異なる複数あるいは単独の水晶光学ローパスフィルターを含む場合、次の条件（8）を満足する様にすると良い。

$$a < 4 \mu\text{m} \text{ のとき } 0.08a < t_{\text{LPF}} < 0.16a \quad (8)$$

$$a < 3 \mu\text{m} \text{ のとき } 0.075a < t_{\text{LPF}} < 0.15a \quad (8)$$

但し、 a は電子撮像素子の水平画素ピッチ（単位 μm ）、 t_{LPF} (mm) はズームレンズの光軸に沿って最も厚くそれとのなす角が35度から55度の範囲に1つの結晶軸を有する光学的ローパスフィルターの厚みである。

1枚あるいは複数枚で構成された前記光学的ローパスフィルターのうち最も厚いものは、その厚さがナイキスト限界周波数にて理論上コントラストがゼロになるように設定されており、およそ $a/5.88$ (mm) である。これよりも厚くすると、モアレ縞の様な偽信号の防止には効果があるが撮像素子の持つ分解能を十分に発揮出来なくなり、薄くすると、モアレ縞のような偽信号が十分に除去できない。しかし、モアレ縞のような偽信号はズームレンズなど撮影レンズの結像性能とも深く関連し、結像性能が高い場合はモアレ縞のような偽信号が発生しやすいので、光学的ローパスフィルターはやや厚めに、逆の場合はやや薄めに設定するのが良い。

一方、画素ピッチが小さくなるにつれて結像レンズ系の回折の影響によりナイキスト限界以上の周波数成分のコントラストが減少するため、モアレ縞のような偽信号の発生は少なくなる。従って、 $a/5.88$ (mm) より数%ないし数十%程度薄くすると、むしろナイキスト限界に相当する周波数以下の空間周波数でのコントラストが向上し好ましい。

なお、次の条件 (8') を満足する様にすればより効果的である。

$$a < 4 \mu\text{m} \text{ のとき、} 0.075 a < t_{\text{LPF}} < 0.15 a \quad (8')$$

$$a < 3 \mu\text{m} \text{ のとき、} 0.07 a < t_{\text{LPF}} < 0.14 a \quad (8')$$

さらに、次の条件 (8'') を満足する様にすればもっと効果的である。

$$a < 4 \mu\text{m} \text{ のとき、} 0.07 a < t_{\text{LPF}} < 0.14 a \quad (8'')$$

$$a < 3 \mu\text{m} \text{ のとき、} 0.065 a < t_{\text{LPF}} < 0.13 a \quad (8'')$$

また、 $a < 4 \mu\text{m}$ において、光学的ローパスフィルタは薄くしすぎると加工が困難になる。そこで、厚みをあまり薄くせず、つまり条件 (8)、(8')、(8'') の上限を超えてもコントラストがゼロになる空間周波数（カットオフ周波数）を高くする別の方法がある。それは、光学的ローパスフィルタの結晶軸がズームレンズの光軸に対してなす角を、 15 度から 35 度の範囲もしくは 55 度から 75 度となるようにする方法である。この角度の範囲においては、入射光の常光線と異常光線への分離量が 45 度近傍のときよりも少なくなり、 0 度もしくは 90 度になったときには分離しなくなる（ただし、 90 度の場合は両者に速度差がつき位相差が発生する… $\lambda/4$ 板の原理）。なお、場合によっては、ローパスフィルタを省略することもあり得る。

なお、前述のごとく画素ピッチが小さくなると、回折の影響でそれに見合った高い空間周波数の結像性能が劣化してくるため、Fナンバーを大きくすることが困難である。従って、カメラにしたときの開口絞りの種類は、幾何収差による劣化の大きな開放と回折限界近傍の絞り値の2種類のみとしても良い。その場合、前述の光学的ローパスフィルタはなくてもよい。

とくに画素ピッチが小さく、開放時の結像性能が最も良い場合などは、撮

像面への入射光束サイズを規制する手段として内径が可変の開口絞りをを用いる方法や、内径の異なる開口絞りと入れ替える方法を用いず、常に内径が固定の開口絞りとしてもよい。その場合、開口絞りに隣接するレンズ面は、少なくとも一方は該開口絞りに向かって凸面を向けており、そのいずれかの隣接するレンズ面が開口絞り内径部を貫通する様にする、絞りによる無駄なスペースがなく、光学系の全長短縮に寄与する。また、前記開口絞りとはレンズ面を1つ以上隔てた光軸を含むいずれかの空間に、透過率が90%以下の光学素子（出来れば入射面、射出面がともに平面がよい）を配したり、透過率の異なる別の光学素子と入れ替える手段を持つと良い。

あるいは開口径が固定の複数の開口を配置し、そのうちの1つを第1群の最も像側のレンズ面と第3群の最も物体側のレンズ面の間のいずれかの光路内に挿入できるようにしておく。このようにすることで他の径の開口絞りと交換可能とすることで像面照度を調節することができる電子撮像装置を実現できる。このとき、前記複数の開口のうち、一部の開口内に波長550nmの光に対する透過率がそれぞれ異なり且つ80%未満であるような媒体を有するようにして、光量調節を行なうのがよい。

あるいは、 $a(\mu\text{m})/F$ ナンバー <0.4 となるようなF値に相当する光量になるように調節を実施する場合は、開口内に波長550nmの光に対する透過率がそれぞれ異なり且つ80%未満の媒体を有する電子撮像装置とするのがよい。たとえば、開放値から上記条件の範囲外では、前記媒体なしか或いは波長550nmの光に対する透過率が91%以上のダミー媒質としておき、範囲内のときは回折の影響が出るほどに開口絞り径を小さくするのではなく、NDフィルターののようなもので光量調節するのがよい。

また、それぞれの開口径をF値に反比例して小さくした複数の開口絞りを揃えておく。そしてそれぞれ周波数特性の異なる光学的ローパスフィルターを開口内に組み込んでおくのでも良い。この場合、絞り込むにつれて回折劣化が大きくなるので、開口径が小さくなるほど光学フィルターの周波数特性

を高く設定しておくといよい。

なお、広角端の開放F値と使用する画素ピッチ $a\ \mu\text{m}$ との関係において、 $F > a$ を満たす場合は、光学ローパスフィルターはなくてもよい。つまり、ズームレンズ系と撮像素子間の光路上の媒質は、すべて空気あるいは非結晶媒質のみとしてよい。回折と幾何収差による結像特性の劣化のために、折り返し歪みを発生させ得る周波数成分がほとんどないためである。

以下、本発明の実施例について図面を用いて説明する。各実施例に関して、折り曲げ時の光路図は広角端無限遠物点合焦時のみが示されている。

第1実施例

図1は本発明によるズームレンズの第1実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図2A乃至図2Cは、第1実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、図2Aは広角端、図2Bは中間、図2Cは望遠端での状態をそれぞれ示している。図3乃至図5は第1実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図3は広角端、図4は中間、図5は望遠端での状態を示している。図6乃至図8は第1実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図6は広角端、図7は中間、図8は望遠端での状態をそれぞれ示している。

図1中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、CGは平面平板状のCCDカバーガラス、LPFは光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルターLPFと、カバーガラスCGと、撮像面Iが配置されている。

そして、第1実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とを有している。

第1レンズ群G₁は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、負の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

後側副群は、物体側から順に、両凹負レンズL₁₁と、該両凹負レンズL₁₁に接合されていて物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL₁₂とで構成されている。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

なお、本発明の各実施例における有効撮像領域の縦横比は3：4であり、折り曲げ方向は横方向である。

第2レンズ群G₂は、物体側から順に、両凸正レンズL₂₁と負メニスカスレンズL₂₂との接合レンズで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第3レンズ群G₃は、物体側から順に、両凹負レンズL₃₁と正メニスカスレンズL₃₂との接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G₄は、物体側から順に、両凸正レンズL₄₁と負メニスカスレンズL₄₂との接合レンズで構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G₁及び開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G₂は物体側へのみ移動し、第3レンズ群G₃は像側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G₄が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G₁中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G₁中の両凹レンズL₁₁の物体側の面、第2レンズ群G₂中の両凸レンズL₂₁の物体側の面、及び第4レンズ群G₄中の両凸正レンズL₄₁の物体側の面に夫々設けられている。

次に、第1実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

なお、第1実施例の数値データにおいて、 r_1 、 r_2 、…は各レンズ面の曲率半径、 d_1 、 d_2 、…は各レンズの肉厚または空気間隔、 n_{d1} 、 n_{d2} 、…は各レンズのd線での屈折率、 ν_{d1} 、 ν_{d2} 、…は各レンズのアッペ数、F n o. はFナンバー、 f は全系焦点距離、 D_0 は物体から第1面までの距離を表している。

なお、非球面形状は、光軸方向を z 、光軸に直交する方向を y にとり、円錐係数を K 、非球面係数を A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} としたとき、次の式で表される。

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + K)(y / r)^2\}^{1/2}] \\ + A_4 y^4 + A_6 y^6 + A_8 y^8 + A_{10} y^{10}$$

なお、これらの記号は後述の実施例の数値データにおいても共通である。

数値データ 1

$r_1 = -11.2633$ (非球面)

$d_1 = 10.8000$ $n_{d1} = 1.52540$ $\nu_{d1} = 56.25$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.3000$

$r_3 = -179.4097$ (非球面)

$d_3 = 0.7000$ $n_{d3} = 1.74320$ $\nu_{d4} = 49.34$

$r_4 = 20.0000$

$d_4 = 2.2000$ $n_{d4} = 1.84666$ $\nu_{d3} = 23.78$

$r_5 = 51.6436$

$d_5 = D_5$

$r_6 = 13.2423$ (非球面)

$d_6 = 3.3000$ $n_{d6} = 1.74320$ $\nu_{d6} = 49.34$

$r_7 = -10.0000$			
$d_7 = 0.7000$	$n_{d7} = 1.84666$	$\nu_{d7} = 23.78$	
$r_8 = -25.6172$			
$d_8 = D_8$			
$r_9 = \infty$ (絞り)			
$d_9 = D_9$			
$r_{10} = -14.2003$			
$d_{10} = 0.7000$	$n_{d10} = 1.48794$	$\nu_{d10} = 70.23$	
$r_{11} = 7.4604$			
$d_{11} = 1.4000$	$n_{d11} = 1.69350$	$\nu_{d11} = 53.21$	
$r_{12} = 16.4097$			
$d_{12} = D_{12}$			
$r_{13} = 11.2131$ (非球面)			
$d_{13} = 3.3000$	$n_{d13} = 1.72916$	$\nu_{d13} = 54.68$	
$r_{14} = -5.0000$			
$d_{14} = 0.7000$	$n_{d14} = 1.846669$	$\nu_{d14} = 23.78$	
$r_{15} = -7.8730$			
$d_{15} = D_{15}$			
$r_{16} = \infty$			
$d_{16} = 1.2231$	$n_{d16} = 1.54771$	$\nu_{d16} = 62.84$	
$r_{17} = \infty$			
$d_{17} = 0.6797$			
$r_{18} = \infty$			
$d_{18} = 0.5096$	$n_{d18} = 1.51633$	$\nu_{d18} = 64.14$	
$r_{19} = \infty$			
$d_{19} = D_{19}$			
$r_{20} = \infty$ (撮像面)			

非球面係数

第 1 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 3.8718 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.1764 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = 7.7116 \times 10^{-9}$$

第3面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -1.3553 \times 10^{-4} \quad A_6 = -3.6036 \times 10^{-7}$$

$$A_8 = 2.4619 \times 10^{-9}$$

第6面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -7.1860 \times 10^{-5} \quad A_6 = 1.0649 \times 10^{-7}$$

$$A_8 = -1.6663 \times 10^{-9}$$

第13面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -3.4687 \times 10^{-4} \quad A_6 = -8.0719 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = 2.5989 \times 10^{-7}$$

ズームデータ

D 0（物体から第 1 面までの距離）が ∞ のとき

	広角端	中間	望遠端
f (mm)	5.00193	8.69862	14.59929
F n o .	3.0551	3.4577	3.7748
D 0	∞	∞	∞
D 5	12.28031	6.99655	0.79982
D 8	1.10035	6.37742	12.58092
D 9	1.39996	3.86126	7.72904

D 1 2	5. 31181	4. 57577	1. 29890
D 1 5	3. 51675	1. 79219	1. 20058
D 1 9	1. 00000	0. 99895	1. 00002

D 0（物体から第 1 面までの距離）が近距離（17 cm）のとき

	広角端	中間	望遠端
D 0	169. 87900	169. 65600	169. 87952
D 5	12. 28000	6. 99655	0. 89925
D 8	1. 10000	6. 37742	12. 58092
D 9	1. 39900	3. 86126	7. 72904
D 1 2	5. 16900	4. 11593	0. 05139
D 1 5	3. 65800	2. 25203	2. 44809
D 1 9	1. 00000	0. 99895	1. 00002

第 2 実施例

図 9 は本発明にズームレンズの第 2 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図 10 A 乃至 10 C は、第 2 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、図 10 A は広角端、図 10 B は中間、図 10 C は望遠端での状態を示している。図 11 乃至図 13 は第 2 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図 11 は広角端、図 12 は中間、図 13 は望遠端での状態を示している。図 14 乃至図 16 は第 2 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図 14 は広角端、図 15 は中間、図 16 は望遠端での状態を示している。

図 9 中、I は電子撮像素子である CCD の撮像面、CG は平面平板状の C

C Dカバーガラス、L P Fは光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルターL P Fと、カバーガラスC Gと、撮像面Iが配置されている。

そして、第2実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G 1と、第2レンズ群G 2と、開口絞りSと、第3レンズ群G 3と、第4レンズ群G 4とを有している。

第1レンズ群G 1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面R Fと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面I Fを有するプリズムPと、負の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

後側副群は、物体側から順に、両凹負レンズL 1₁と、該両凹負レンズL 1₁に接合されていて物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 1₂とで構成されている。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

第2レンズ群G 2は、物体側から順に、両凸正レンズL 2₁と負メニスカスレンズL 2₂との接合レンズで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第3レンズ群G 3は、物体側から順に、正メニスカスレンズL 3₁と、両凹負レンズL 3₂と正メニスカスレンズL 3₃との接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G 4は、物体側から順に、正メニスカスレンズL 4₁と両凸正レンズL 4₂との接合レンズで構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G 1と開口絞りSと第3レンズ群G 3の最も物体側のレンズL 3₁は位置が固定され、第2レンズ群G 2は物体側へのみ移動し、第3レンズ群G 3の接合レンズは像側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凹レンズL1₁の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凸レンズL2₁の物体側の面、及び第4レンズ群G4中の両凸正レンズL4₂の像側の面に夫々設けられている。

次に、第2実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ 2

$$r_1 = -14.1073 \text{ (非球面)}$$

$$d_1 = 10.8000$$

$$n_{d1} = 1.52540$$

$$\nu_{d1} = 56.25$$

$$r_2 = \infty$$

$$d_2 = 0.5000$$

$$r_3 = -36.0260 \text{ (非球面)}$$

$$d_3 = 0.7000$$

$$n_{d3} = 1.74320$$

$$\nu_{d3} = 49.34$$

$$r_4 = 9.2868$$

$$d_4 = 2.2000$$

$$n_{d4} = 1.84666$$

$$\nu_{d4} = 23.78$$

$$r_5 = 22.5012$$

$$d_5 = D5$$

$$r_6 = 12.7045 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 3.4909$$

$$n_{d6} = 1.69350$$

$$\nu_{d6} = 53.21$$

$$r_7 = -6.5917$$

$$d_7 = 0.7000$$

$$n_{d7} = 1.84666$$

$$\nu_{d7} = 23.78$$

$$r_8 = -12.6815$$

$$d_8 = D8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = 1.0000$$

$r_{10} = -29.5849$			
$d_{10} = 1.2000$	$n_{d10} = 1.69350$	$\nu_{d10} = 53.21$	
$r_{11} = -13.7120$			
$d_{11} = D_{11}$			
$r_{12} = -7.7491$			
$d_{12} = 0.7000$	$n_{d12} = 1.51742$	$\nu_{d12} = 52.43$	
$r_{13} = 4.8702$			
$d_{13} = 1.4000$	$n_{d13} = 1.77250$	$\nu_{d13} = 49.60$	
$r_{14} = 11.1717$			
$d_{14} = D_{14}$			
$r_{15} = 10.0843$			
$d_{15} = 0.7000$	$n_{d15} = 1.84666$	$\nu_{d15} = 23.78$	
$r_{16} = 5.6491$			
$d_{16} = 3.3000$	$n_{d16} = 1.69350$	$\nu_{d16} = 53.21$	
$r_{17} = -12.5842$ (非球面)			
$d_{17} = D_{17}$			
$r_{18} = \infty$			
$d_{18} = 1.2231$	$n_{d18} = 1.54771$	$\nu_{d18} = 62.84$	
$r_{19} = \infty$			
$d_{19} = 0.6795$			
$r_{20} = \infty$			
$d_{20} = 0.5096$	$n_{d20} = 1.51633$	$\nu_{d20} = 64.14$	
$r_{21} = \infty$			
$d_{21} = 0.9991$			
$r_{22} = \infty$ (撮像面)			

非球面係数

第 1 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 2.4392 \times 10^{-4} \quad A_6 = -5.5539 \times 10^{-7}$$

$$A_8 = 1.0970 \times 10^{-9} \quad A_{10} = 0$$

第 3 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -1.3553 \times 10^{-4} \quad A_6 = -3.6036 \times 10^{-7}$$

$$A_8 = 2.4619 \times 10^{-9} \quad A_{10} = 0$$

第 6 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -1.5318 \times 10^{-4} \quad A_6 = -4.4553 \times 10^{-7}$$

$$A_8 = 3.9368 \times 10^{-8} \quad A_{10} = 0$$

第 17 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 7.3675 \times 10^{-4} \quad A_6 = 2.8684 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -5.3416 \times 10^{-7} \quad A_{10} = 0$$

ズームデータ

D 0 (物体から第 1 面までの距離) が ∞ のとき

	広角端	中間	望遠端
f (mm)	5.00377	8.70107	14.59713
F n o.	3.3980	3.3833	4.0274
D 0	∞	∞	∞
D 5	12.23432	6.53666	0.79774
D 8	1.09796	6.81905	12.53476
D 11	2.66550	4.99975	11.32016
D 14	4.38756	5.61570	1.29940

D 1 7	2. 25048	1. 57990	1. 18769
D 2 1	0. 99910	0. 99921	0. 99933

D 0（物体から第 1 面までの距離）が近距離（1 7 c m）のとき

	広角端	中間	望遠端
D 0	169. 87952	169. 87952	169. 87952
D 5	12. 23432	6. 53666	0. 79774
D 8	1. 09796	6. 81905	12. 53476
D 1 1	1. 47619	0. 90536	5. 62716
D 1 4	4. 23413	5. 14315	0. 00868
D 1 7	2. 40392	2. 05245	2. 47841
D 2 1	0. 99910	0. 99921	0. 99933

第 3 実施例

図 1 7 は本発明にズームレンズの第 3 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図 1 8 A 乃至図 1 8 C は第 3 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、図 1 8 A は広角端、図 1 8 B は中間、図 1 8 C は望遠端での状態を示している。図 1 9 乃至図 2 1 は第 3 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図 1 9 は広角端、図 2 0 は中間、図 2 1 は望遠端での状態を示している。図 2 2 乃至図 2 4 は第 3 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図 2 2 は広角端、図 2 3 は中間、図 2 4 は望遠端での状態を示している。

図 1 7 中、I は電子撮像素子である C C D の撮像面、C G は平面平板状の C C D カバーガラス、L P F は光学的ローパスフィルターで、物体側から順

に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルターLPFと、カバーガラスCGと、撮像面Iが配置されている。

そして、第3実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とを有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、負の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

後側副群は、後側副群は、物体側から順に、両凹負レンズL1₁と、該両凹負レンズL1₁に接合されていて物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL1₂とで構成されている。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凸正レンズL2₁と負メニスカスレンズL2₂との接合レンズで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、物体側から順に、正メニスカスレンズL3₁と、両凹負レンズL3₂と正メニスカスレンズL3₃との接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G4は、物体側から順に、負メニスカスレンズL4₁と両凸正レンズL4₂との接合レンズで構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1と開口絞りSと第3レンズ群G3の最も物体側のレンズL3₁は位置が固定され、第2レンズ群G2は物体側へのみ移動し、第3レンズ群G3の接合レンズは像側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっ

ている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凹レンズL1₁の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凸レンズL2₁の物体側の面、及び第4レンズ群G4中の両凸正レンズL4₂の像側の面に夫々設けられている。

次に、第3実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ3

$$r_1 = -11.2867 \text{ (非球面)}$$

$$d_1 = 10.8000 \quad n_{d1} = 1.52540 \quad \nu_{d1} = 56.25$$

$$r_2 = \infty$$

$$d_2 = 0.5000$$

$$r_3 = -138.3425 \text{ (非球面)}$$

$$d_3 = 0.7000 \quad n_{d3} = 1.74320 \quad \nu_{d3} = 49.34$$

$$r_4 = 9.3244$$

$$d_4 = 2.2000 \quad n_{d4} = 1.84666 \quad \nu_{d4} = 23.78$$

$$r_5 = 19.9906$$

$$d_5 = D5$$

$$r_6 = 12.2440 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 3.4909 \quad n_{d6} = 1.69350 \quad \nu_{d6} = 53.21$$

$$r_7 = -6.8764$$

$$d_7 = 0.7000 \quad n_{d7} = 1.84666 \quad \nu_{d7} = 23.78$$

$$r_8 = -13.6579$$

$$d_8 = D8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = 1.0000$$

$$r_{10} = -15.8713$$

$d_{10} = 1.2000$	$n_{d10} = 1.69350$	$\nu_{d10} = 53.21$
$r_{11} = -10.2172$		
$d_{11} = D11$		
$r_{12} = -7.4432$		
$d_{12} = 0.7000$	$n_{d12} = 1.51742$	$\nu_{d12} = 52.43$
$r_{13} = 5.0239$		
$d_{13} = 1.4000$	$n_{d13} = 1.77250$	$\nu_{d13} = 49.60$
$r_{14} = 13.7792$		
$d_{14} = D14$		
$r_{15} = 9.7921$		
$d_{15} = 0.7000$	$n_{d15} = 1.84666$	$\nu_{d15} = 23.78$
$r_{16} = 5.5694$		
$d_{16} = 3.3000$	$n_{d16} = 1.69350$	$\nu_{d16} = 53.21$
$r_{17} = -18.3733$ (非球面)		
$d_{17} = D17$		
$r_{18} = \infty$		
$d_{18} = 1.2231$	$n_{d18} = 1.54771$	$\nu_{d18} = 62.84$
$r_{19} = \infty$		
$d_{19} = 0.6795$		
$r_{20} = \infty$		
$d_{20} = 0.5096$	$n_{d20} = 1.51633$	$\nu_{d20} = 64.14$
$r_{21} = \infty$		
$d_{21} = D21$		
$r_{22} = \infty$ (撮像面)		

非球面係数

第1面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 3.7457 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.2302 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = 7.3582 \times 10^{-9} \quad A_{10} = 0$$

第 3 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -1.3553 \times 10^{-4} \quad A_6 = -3.6036 \times 10^{-7}$$

$$A_8 = 2.4619 \times 10^{-9} \quad A_{10} = 0$$

第 6 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -1.4252 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.7992 \times 10^{-7}$$

$$A_8 = 2.8885 \times 10^{-8} \quad A_{10} = 0$$

第 17 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 9.1963 \times 10^{-4} \quad A_6 = 9.8963 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = 1.0206 \times 10^{-6} \quad A_{10} = 0$$

ズームデータ

D 0 (物体から第 1 面までの距離) が ∞ のとき

	広角端	中間	望遠端
f (mm)	5.00395	8.70265	14.59710
F n o .	3.4232	3.4242	3.9857
D 0	∞	∞	∞
D 5	12.3182	6.61904	0.79834
D 8	1.09847	6.80291	12.61844
D 11	1.31360	0.90201	5.31957
D 14	3.68833	5.19173	1.29887
D 17	2.81370	1.71467	1.19720

D 2 1	0. 99944	0. 99909	0. 99924
-------	----------	----------	----------

D 0（物体から第 1 面までの距離）が近距離（1 7 c m）のとき

	広角端	中間	望遠端
D 0	169. 87952	169. 87952	169. 87952
D 5	12. 31824	6. 61904	0. 79834
D 8	1. 09847	6. 80291	12. 61844
D 1 1	1. 31360	0. 90201	5. 31957
D 1 4	3. 53290	4. 69568	-0. 06932
D 1 7	2. 96913	2. 21073	2. 56540
D 2 1	0. 99944	0. 99909	0. 99924

第 4 実施例

図 2 5 は本発明にズームレンズの第 4 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図 2 6 A 乃至図 2 6 C は第 4 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、図 2 6 A は広角端、図 2 6 B は中間、図 2 6 C は望遠端での状態をそれぞれ示している。図 2 7 乃至図 2 9 は第 4 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図 2 7 は広角端、図 2 8 は中間、図 2 9 は望遠端での状態を示している。図 3 0 乃至図 3 2 は第 3 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図 3 0 は広角端、図 3 1 は中間、図 3 2 は望遠端での状態を示している。

図 2 5 中、I は電子撮像素子である C C D の撮像面、C G は平面平板状の C C D カバーガラス、L P F は光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルター L P F と、カ

バーガラスCGと、撮像面Iが配置されている。

そして、第4実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とを有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、負の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

後側副群は、物体側から順に、両凹負レンズL1₁と、該両凹負レンズL1₁に接合されていて物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL1₂とで構成されている。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に、負メニスカスレンズL2₁と両凸正レンズL2₂との接合レンズで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、物体側から順に、両凸正レンズL3₁と、両凹負レンズL3₂と正メニスカスレンズL3₃との接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G4は、物体側から順に、負メニスカスレンズL4₁と両凸正レンズL4₂との接合レンズで構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1と開口絞りSと第3レンズ群G3の最も物体側のレンズL3₁は位置が固定され、第2レンズ群G2は物体側へのみ移動し、第3レンズ群G3の接合レンズは像側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、

第1レンズ群G1中の両凹レンズL1₁の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凸レンズL2₂の像側の面、及び第4レンズ群G4中の両凸正レンズL4₂の像側の面に夫々設けられている。

次に、第4実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ4

$$r_1 = -12.4196 \text{ (非球面)}$$

$$d_1 = 10.8000 \quad n_{d1} = 1.52540 \quad \nu_{d1} = 56.25$$

$$r_2 = \infty$$

$$d_2 = 0.5000$$

$$r_3 = -53.5376 \text{ (非球面)}$$

$$d_3 = 0.7000 \quad n_{d3} = 1.74320 \quad \nu_{d3} = 49.34$$

$$r_4 = 12.0098$$

$$d_4 = 2.2000 \quad n_{d4} = 1.84666 \quad \nu_{d4} = 23.78$$

$$r_5 = 26.2963$$

$$d_5 = D_5$$

$$r_6 = 10.6250$$

$$d_6 = 0.7000 \quad n_{d6} = 1.69350 \quad \nu_{d6} = 53.21$$

$$r_7 = 6.4196$$

$$d_7 = 3.5000 \quad n_{d7} = 1.69350 \quad \nu_{d7} = 53.21$$

$$r_8 = -21.9943 \text{ (非球面)}$$

$$d_8 = D_8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = 1.0000$$

$$r_{10} = 278.6958$$

$$d_{10} = 1.2000 \quad n_{d10} = 1.69350 \quad \nu_{d10} = 53.21$$

$$r_{11} = -17.2478$$

$$\begin{aligned}
d_{11} &= D_{11} \\
r_{12} &= -8.3462 \\
d_{12} &= 0.7000 & n_{d12} &= 1.51742 & \nu_{d12} &= 52.43 \\
r_{13} &= 4.4638 \\
d_{13} &= 1.4000 & n_{d13} &= 1.77250 & \nu_{d13} &= 49.60 \\
r_{14} &= 8.1503 \\
d_{14} &= D_{14} \\
r_{15} &= 10.3017 \\
d_{15} &= 0.7000 & n_{d15} &= 1.84666 & \nu_{d15} &= 23.78 \\
r_{16} &= 4.9503 \\
d_{16} &= 3.3000 & n_{d16} &= 1.69350 & \nu_{d16} &= 53.21 \\
r_{17} &= -11.5715 \text{ (非球面)} \\
d_{17} &= D_{17} \\
r_{18} &= \infty \\
d_{18} &= 1.2231 & n_{d18} &= 1.54771 & \nu_{d18} &= 62.84 \\
r_{19} &= \infty \\
d_{19} &= 0.6795 \\
r_{20} &= \infty \\
d_{20} &= 0.5096 & n_{d20} &= 1.51633 & \nu_{d20} &= 64.14 \\
r_{21} &= \infty \\
d_{21} &= D_{21} \\
r_{22} &= \infty \text{ (撮像面)}
\end{aligned}$$

非球面係数

第1面

$K = 0$

$A_2 = 0$ $A_4 = 2.9416 \times 10^{-4}$ $A_6 = -2.4169 \times 10^{-7}$

$$A_8 = -2.4184 \times 10^{-9} \quad A_{10} = 0$$

第 3 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -1.3553 \times 10^{-4} \quad A_6 = -3.6036 \times 10^{-7}$$

$$A_8 = 2.4619 \times 10^{-9} \quad A_{10} = 0$$

第 8 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 1.3787 \times 10^{-4} \quad A_6 = 8.0659 \times 10^{-8}$$

$$A_8 = -2.1200 \times 10^{-8} \quad A_{10} = 0$$

第 17 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 5.4518 \times 10^{-4} \quad A_6 = 1.6855 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = 14.9004 \times 10^{-7} \quad A_{10} = 0$$

ズームデータ

D 0 (物体から第 1 面までの距離) が ∞ のとき

	広角端	中間	望遠端
f (mm)	5.01799	8.69719	14.59082
F n o .	2.8429	2.8421	3.3170
D 0	∞	∞	∞
D 5	13.12618	6.93744	0.79483
D 8	1.08989	7.28021	13.42125
D 11	0.83855	0.90468	5.73298
D 14	4.17422	4.85365	1.29700
D 17	3.16399	2.41615	1.14740
D 21	0.99819	0.99862	0.99756

D 0（物体から第 1 面までの距離）が近距離（17 cm）のとき

	広角端	中間	望遠端
D 0	169.87952	169.87952	169.87952
D 5	13.12618	6.93744	0.79483
D 8	1.08989	7.28021	13.42125
D 1 1	0.83855	0.90468	5.73298
D 1 4	4.02668	4.40247	-0.01751
D 1 7	3.31153	2.86734	2.46191
D 2 1	0.99819	0.99862	0.99756

実施例 5

図 3 3 は本発明によるズームレンズの第 5 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図 3 4 A 乃至図 3 4 C は第 5 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、図 3 4 A は広角端、図 3 4 B は中間、図 3 4 C は望遠端での状態をそれぞれ示している。図 3 5 乃至図 3 7 は第 5 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図 3 5 は広角端、図 3 6 は中間、図 3 7 は望遠端での状態を示している。図 3 8 乃至図 4 0 は第 5 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図 3 8 は広角端、図 3 9 は中間、図 4 0 は望遠端での状態を示している。

図 3 3 中、I は電子撮像素子である CCD の撮像面、CG は平面平板状の CCD カバーガラス、LPF は光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルター LPF と、カバーガラス CG と、撮像面 I が配置されている。

そして、第 5 実施例のズームレンズは、物体側から順に、第 1 レンズ群 G

1 と、第 2 レンズ群 G 2 と、開口絞り S と、第 3 レンズ群 G 3 と、第 4 レンズ群 G 4 とを有している。

第 1 レンズ群 G 1 は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面 R F と物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面 I F を有するプリズム P と、負の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

後側副群は、物体側から順に、両凹負レンズ L 1₁ と、該両凹負レンズ L 1₁ に接合されていて物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 1₂ とで構成されている。

プリズム P は、光路を 90° 折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、正メニスカスレンズ L 2₁ と、両凸正レンズ L 2₂ と両凹負レンズ L 1₃ の接合レンズで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第 3 レンズ群 G 3 は、物体側から順に、両凹負レンズ L 3₁ と正メニスカスレンズ L 3₂ との接合レンズで構成されている。

第 4 レンズ群 G 4 は、物体側から順に、正メニスカスレンズ L 4₁ と、両凸正レンズ L 4₂ と両凹負レンズ L 4₃ との接合レンズで構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第 1 レンズ群 G 1 及び開口絞り S は位置が固定され、第 2 レンズ群 G 2 は物体側へのみ移動し、第 3 レンズ群 G 3 は像側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第 4 レンズ群 G 4 が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第 1 レンズ群 G 1 中のプリズム P の光線入射面 I F のほかに、第 1 レンズ群 G 1 中の両凹レンズ L 1₁ の物体側の面、第 2 レンズ群 G 2 中の両凸レンズ L 2₂ の物体側の面、及び第 4 レンズ群 G 4 中の両凸正レンズ L 4₁ の物体側の面に夫々設けられている。

次に、第5実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ 5

$$r_1 = -10.5132 \text{ (非球面)}$$

$$d_1 = 10.8000$$

$$n_{d1} = 1.52540$$

$$\nu_{d1} = 56.25$$

$$r_2 = \infty$$

$$d_2 = 0.5000$$

$$r_3 = 534.1460 \text{ (非球面)}$$

$$d_3 = 0.7000$$

$$n_{d3} = 1.74320$$

$$\nu_{d3} = 49.34$$

$$r_4 = 9.0000$$

$$d_4 = 2.2000$$

$$n_{d4} = 1.84666$$

$$\nu_{d4} = 23.78$$

$$r_5 = 25.4736$$

$$d_5 = D_5$$

$$r_6 = -26.2943$$

$$d_6 = 1.5631$$

$$n_{d6} = 1.72916$$

$$\nu_{d6} = 54.68$$

$$r_7 = -11.3423$$

$$d_7 = 0.1500$$

$$r_8 = 9.2254 \text{ (非球面)}$$

$$d_8 = 2.4901$$

$$n_{d8} = 1.58313$$

$$\nu_{d8} = 59.38$$

$$r_9 = -14.7020$$

$$d_9 = 0.7000$$

$$n_{d9} = 1.84666$$

$$\nu_{d9} = 23.78$$

$$r_{10} = 83.9613$$

$$d_{10} = D_{10}$$

$$r_{11} = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_{11} = D_{11}$$

$$r_{12} = -9.2160$$

$$d_{12} = 0.7000$$

$$n_{d12} = 1.51742$$

$$\nu_{d12} = 52.43$$

$r_{13} = 6.5013$			
$d_{13} = 1.4000$	$n_{d13} = 1.77250$	$\nu_{d13} = 49.60$	
$r_{14} = 33.6122$			
$d_{14} = D14$			
$r_{15} = -79.6503$			
$d_{15} = 1.5971$	$n_{d15} = 1.72916$	$\nu_{d15} = 54.68$	
$r_{16} = -12.6716$			
$d_{16} = 0.1500$			
$r_{17} = 9.6450$ (非球面)			
$d_{17} = 2.4915$	$n_{d17} = 1.58313$	$\nu_{d17} = 59.38$	
$r_{18} = -21.2876$			
$d_{18} = 0.7000$	$n_{d18} = 1.84666$	$\nu_{d18} = 23.78$	
$r_{19} = 2346.3639$			
$d_{19} = D19$			
$r_{20} = \infty$			
$d_{20} = 1.2231$	$n_{d20} = 1.54771$	$\nu_{d20} = 62.84$	
$r_{21} = \infty$			
$d_{21} = 0.6795$			
$r_{22} = \infty$			
$d_{22} = 0.5096$	$n_{d22} = 1.51633$	$\nu_{d22} = 64.14$	
$r_{23} = \infty$			
$d_{23} = 0.9988$			
$r_{24} = \infty$ (撮像面)			

非球面係数

第1面

$K = 0$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 3.7982 \times 10^{-4} \quad A_6 = -4.3853 \times 10^{-7}$$

$$A_8 = 5.6902 \times 10^{-9} \quad A_{10} = 0$$

第 3 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -1.3553 \times 10^{-4} \quad A_6 = -3.6036 \times 10^{-7}$$

$$A_8 = 2.4619 \times 10^{-9} \quad A_{10} = 0$$

第 8 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -2.3232 \times 10^{-6} \quad A_6 = 7.9862 \times 10^{-8}$$

$$A_8 = 2.5004 \times 10^{-8} \quad A_{10} = 0$$

第 17 面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -8.2740 \times 10^{-5} \quad A_6 = -2.7423 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = 9.8465 \times 10^{-8} \quad A_{10} = 0$$

ズームデータ

D 0 (物体から第 1 面までの距離) が ∞ のとき

	広角端	中間	望遠端
f (mm)	5.02489	8.70228	14.59110
F n o .	2.8637	2.9540	3.5434
D 0	∞	∞	∞
D 5	13.09065	6.92383	1.49503
D 1 0	1.08532	7.23276	12.68085
D 1 1	1.49830	1.58181	8.24855
D 1 4	6.25187	7.19284	1.29853
D 1 9	2.98313	1.97062	1.18651

D 2 3 0. 99880 0. 99552 0. 99868

D 0（物体から第 1 面までの距離）が近距離（1 7 c m）のとき

	広角端	中間	望遠端
D 0	169. 87952	169. 87952	169. 87952
D 5	13. 09065	6. 92383	1. 49503
D 1 0	1. 08532	7. 23276	12. 68085
D 1 1	1. 49830	1. 58181	8. 24855
D 1 4	6. 10582	6. 74430	0. 05753
D 1 9	3. 12918	2. 41916	2. 42751
D 2 3	0. 99880	0. 99552	0. 99868

なお、本発明の各実施例では、いずれも、折り曲げ方向を上述のように電子撮像素子（CCD）の長辺方向（水平方向）としている。短辺方向（垂直方向）へ折り曲がるようにしたほうが、折り曲げのためのスペースが少なくて済み小型化には有利であるが、長辺方向への折り曲げに対応できるようにしておけば、長辺、短辺のいずれへの折り曲げにも対応でき、レンズを組み込むカメラデザインの自由度が増して好ましい。

次に、上記各実施例における条件式のパラメータ等の値を表示する。

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5
レンズデータ	数値データ 1	数値データ 2	数値データ 3	数値データ 4	数値データ 5
広角端での半画角	33. 0°	33. 2°	33. 3°	33. 2°	32. 8°
中間での半画角	19. 1°	18. 4°	18. 4°	18. 7°	18. 3°
望遠端での半画角	11. 7°	11. 6°	11. 5°	11. 6°	11. 6°
L	6. 0	6. 0	6. 0	6. 0	6. 0
e / L	7. 080	7. 080	7. 080	7. 080	7. 080
n pri	1. 52540	1. 52540	1. 52540	1. 52540	1. 52540
log r B / log r	0. 76255	1. 13558	1. 07265	1. 23194	0. 87621

M3 / M2	-0.55129	-0.36295	-0.34774	-0.39691	-0.58214
M4 / M3	0.36596	0.25603	0.40352	0.41202	0.26616
β_{R1}	-0.99884	-1.46760	-1.44111	-1.37500	-1.16320
f_{11} / f_{12}	0.32932	1.28229	0.78209	0.89342	0.39674
τ_{600} / τ_{550}	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
τ_{700} / τ_{550}	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
τ_{400} / τ_{550}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
τ_{440} / τ_{550}	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
a	3.5	2.5	2.0	3.0	2.8
t_{LPF}	0.42	0.30	0.24	0.36	0.34

What is claimed is:

1. ズームレンズであって、
負の屈折力を有する第1レンズ群と、
該第1レンズ群の像側に配置された開口絞りとを備え、
前記第1レンズ群は、最も物体側に、光路を折り曲げるための反射面
を含む光学素子を有し、変倍時固定であり、
前記開口絞りは、変倍時に像面に対して位置が不動であり、
前記光学素子の光線入射面が物体側に凹であり、光軸から離れるに従っ
て発散性が弱まる非球面を有する。

2. クレーム1に記載のズームレンズであって、
前記第1レンズ群と前記開口絞りとの間に配置された、正の屈折力を有す
る第2レンズ群を備え、
該第2レンズ群は、無限遠物点合焦時に、広角端から望遠端に変倍する
際に一方向にのみ移動し、以下の条件を満たす。

$$0.45 < \log r_B / \log r < 0.85$$

但し、 f_T は望遠端における前記ズームレンズの全系の焦点距離、 f_w は広角端
における前記ズームレンズの全系の焦点距離、 $r = f_T / f_w$ 、 r_B は望遠端に
おける前記ズームレンズ群G2の倍率／広角端における前記レンズ群G2の
倍率である。

3. クレーム2に記載のズームレンズであって、
前記開口絞りから像側に向かって順に配置された、負の屈折力を有する第
3レンズ群と、
正の屈折力を有する第4レンズ群とを備え、
前記第3レンズ群と前記第4レンズ群とは隣接して配置され、

無限遠物点合焦時に、広角端から望遠端へ向かって変倍する際に、前記第3レンズ群と前記第4レンズ群の間隔が、広角端よりも望遠端の方が小さくなる。

4. クレーム3に記載のズームレンズであって、

無限遠物点合焦時広角端から望遠端へ向かって変倍する際に、前記第4レンズ群の位置が広角端よりも望遠端の方がより像側に位置する。

5. クレーム1に記載のズームレンズであって、

前記開口絞りよりも像側に配置され、合焦を行うレンズ群を備える。

6. クレーム1に記載のズームレンズであって、

正の屈折力を有し、且つ非球面を有するレンズ群を備える。

7. クレーム1に記載のズームレンズであって、

正の屈折力を有し、接合レンズ成分を含むレンズ群を備える。

8. クレーム7に記載のズームレンズであって、

前記レンズ群が1つの接合レンズ成分のみで構成されている。

9. クレーム1に記載のズームレンズであって、

以下の条件を満たす。

$$0.45 < e/L < 1.2$$

但し、Lは撮像素子の有効撮像領域の対角長、eは前記光学素子の光線入射面から光線射出面までの光軸上に沿って測ったときの空気換算長である。

10. クレーム1に記載のズームレンズであって、

前記光学素子がプリズムであって、
以下の条件を満たす。

$$1.45 < n_{pri}$$

但し、 n_{pri} は該プリズムの媒質の屈折率（d線）である。

1 1. クレーム 1 に記載のズームレンズであって、
更に、第 2 レンズ群を備え、
以下の条件を満たす。

$$0.85 < -\beta_{R1} < 2.0$$

但し、 β_{R1} は前記第 2 レンズ群以降の光学系の望遠端における合成倍率（無限遠物点）である。

1 2. クレーム 1 に記載のズームレンズであって、
更に、第 2 レンズ群と第 3 レンズ群を備え、
以下の条件を満たす。

$$0.2 < -M3/M2 < 0.75$$

但し、 $M2$ は無限遠合焦時に広角端から望遠端に変倍する際の前記第 2 レンズ群の移動量、 $M3$ は無限遠合焦時に広角端から望遠端に変倍する際の前記第 3 レンズ群の移動量である。

1 3. クレーム 1 に記載のズームレンズであって、
更に、副レンズ群を備え、
以下の条件を満たす。

$$0 < f_{11}/f_{12} < 1.6$$

但し、 f_{11} は前記第 1 レンズ群のプリズムの焦点距離、 f_{12} は上記副レンズ群の焦点距離である。

14. クレーム1に記載のズームレンズであって、

以下の条件を満たす光学部材または光学薄膜を有する。

$$\tau_{600} / \tau_{550} \geq 0.8$$

$$\tau_{700} / \tau_{550} \leq 0.08$$

但し、 τ_{550} は前記光学部材または光学薄膜の波長550 nmにおける透過率、 τ_{600} は前記光学部材または光学薄膜の波長600 nmにおける透過率、 τ_{700} は前記光学部材または光学薄膜の波長700 nmにおける透過率である。

15. クレーム1に記載のズームレンズであって、

以下の条件を満たす光学部材または光学薄膜を有する。

$$\tau_{400} / \tau_{550} \leq 0.08$$

$$\tau_{440} / \tau_{550} \geq 0.4$$

但し、 τ_{400} は前記光学部材または光学薄膜の波長400 nmにおける透過率、 τ_{440} は前記光学部材または光学薄膜の波長440 nmにおける透過率、 τ_{550} は前記光学部材または光学薄膜の波長550 nmにおける透過率である。

16. クレーム1に記載のズームレンズであって、

該ズームレンズは前記撮像面に配置された電子撮像素子に物体像を形成し

、
光学的ローパスフィルタを備え、

下記条件を満たす。

$$a < 4 \mu\text{m} \text{ のとき } 0.08a < t_{\text{LPF}} < 0.16a$$

$$a < 3 \mu\text{m} \text{ のとき } 0.075a < t_{\text{LPF}} < 0.15a$$

但し、 a は前記電子撮像素子の水平画素ピッチ（単位 μm ）、 t_{LPF} （nm）は前記ズームレンズの光軸に沿って最も厚く、それとのなす角が35度から55度の範囲に1つの結晶軸を有する光学的ローパスフィルタの厚みである。

17. クレーム3に記載のズームレンズであって、

前記第3レンズ群は、広角端から望遠端へ向かって変倍する際に、固定のレンズ成分と、移動するレンズ成分を有する。

18. クレーム1に記載のズームレンズであって、

前記光学素子はプリズムである。

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

最も物体側に、光路を折り曲げるための反射面を含むプリズムを有し全体として負の屈折力であり変倍時固定である第1レンズ群と、変倍時に撮像面に対して位置が不動の開口絞りとを有するズームレンズ。プリズムの光路入射面は物体側に凹面であり、光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を有している。これにより、高い光学仕様性能を有する奥行き方向が極めて薄いズームレンズが提供される。